

Fach: Theoretische Physik		
PrüferIn: Shnirman		
<input checked="" type="radio"/> BP <input type="radio"/> NP <input type="radio"/> SF <input type="radio"/> EF <input type="radio"/> NF <input type="radio"/> LA	Datum: 22. März 2023	Fachsemester: 7
Welche Vorlesungen wurden geprüft? Theo E-F		
Welche Vorlesung der PrüferIn hast Du gehört? Theo D		

## Zur Vorbereitung

Absprache mit PrüferIn über folgende Themengebiete: -
Absprache mit PrüferIn über Literatur/Skripte: -
Verwendete Literatur/Skripte: Skripte: Theo D: Shnirman Theo E: Steinhauser Theo F: Schön + Folien Shnirman
Dauer der Vorbereitung: 2 Wochen
Art der Vorbereitung: allein + bisschen abfragen
Allgemeine Tips zur Vorbereitung: Es gibt einige Fragen, die er immer stellt. Viel mit den Protokollen lernen hilft.

## Zur Prüfung

Wie verlief die Prüfung? Shnirman stellt Fragen und lässt Zeit, diese zu beantworten. Die Prüfung fand in seinem Büro statt. Man sitzt mit ihm am Tisch und schreibt auf Papier.
Wie reagierte die PrüferIn, wenn Fragen nicht sofort beantwortet wurden? Er ist sehr geduldt und hilft viel. Hat Verständnis dafür, dass man nicht alles wissen kann.
Kommentar zur Prüfung: Fühlte sich sehr viel kürzer als die Stunde an. Angenehme Atmosphäre (für eine Prüfung)
Kommentar zur Benotung: 1.7 sehr großzügig
Die Schwierigkeit der Prüfung: Bei mir Theo F, weil ich das kaum gelernt habe...

## Die Fragen

Shnirman: Nennen Sie mir die zeitabhängige Schrödingergleichung.

Ich: \*hingeschrieben\*

S: Wenn Ihr Hamiltonian zeitabhängig ist, wie sieht dann der Zeitentwicklungsoperator aus?

I: (super Start...)

S: Fangen wir anders an. Allgemein Störtheorie.

I:  $H(t) = H_0 + V(t)$

S: Können Sie die Dyson-Reihe herleiten?

I: Angefangen mit Dirac-Bild. Herleitung wie in Steinhauserskript. Bisschen holprig, hat aber funktioniert.

S: Bitte die ersten beiden Korrekturen explizit aufschreiben.

I: Getan. (Ich sollte dann noch erklären, wie ich die Integralgrenzen anpassen kann, um einen Faktor  $1/2$  zu bekommen. -> Skript Steinhauser)

S: Wie sieht jetzt die 1025. Korrektur aus?

I: Wenn ich die jetzt alle ausrechne, ist die Prüfung vorbei, bevor ich fertig bin.

S (belustigt): Das machen Sie bitte nicht.

Er hat noch ein bisschen geredet, wollte darauf hinaus, dass es einen Ausdruck dafür gibt. Wusste ich nicht, war nicht weiter schlimm.

Kurz noch was zu Wellenpaketen. Nur oberflächliche Fragen, nichts tiefergehendes. Weiß ich leider im Detail nicht mehr. 1D Betrachtung hat ihm zum Glück gereicht.

- Notwendig, um Lösungen zu normieren

- Allgemeine Form hingeschrieben

S: Machen wir weiter mit dem Wasserstoffatom. Geben Sie den Hamiltonian an.

I: In Relativkoordinaten okay?

S: Ok.

I: Ich lege mein Koordinatensystem so, dass der Kern im Ursprung liegt. Dann ist  $H = p^2/2m - e^2/4\pi \epsilon_0 r$ .  $m$  ist die reduzierte Masse. (Die Erklärungen haben ihn nicht so sehr interessiert, es ging ihm nur um den Hamiltonian)

S: Welche Größen sind hier enthalten?

I: Wegen der Invarianz bezüglich Zeittranslationen ist die Gesamtenergie erhalten. Wegen der Rotations- der Drehimpuls.

S: Alle Komponenten des Drehimpulses?

I: Ja alle.

S: Was wenn ich z.B. ein Heliumkern habe?

I: Dann kann ich mein Coulomb-Potential mit einem  $Z$  multiplizieren. Solange sich nur der Kern verändert ist das leicht. Wenn ich mehrere Elektronen habe, wird das ganze sehr viel schwieriger.

S (nickt): Ja. Wie sehen die Eigenenergien aus?

I:  $E_n = -Ry/n^2$

S: Sind die entartet?

I: Ja, Entartung beträgt  $n^2$ .

S: Können Sie mir das zeigen?

Ich habe mich ganz oft vertan. Am Ende stand das Richtige da. Summe von  $l = 0$  bis  $n-1$   $(2l+1) = n^2$ .

Davor habe ich noch irgendwas dazu erzählt, dass ich die Zustände über  $n$ ,  $l$  und  $m$  beschreiben kann, wenn das die Quantenzahlen zu den Eigenwerten der Operatoren in meiner vollständigen Basis kommutierend Observablen ist.

S: Was meinen Sie, wenn Sie von Erhaltungsgrößen sprechen? Wann ist eine Größe erhalten?

I: Wenn sie mit dem Hamiltonian kommutiert  $\rightarrow$  Ehrenfest-Theorem

S: Und was, wenn ich die Erwartungswerte loswerden möchte?

I: Heisenberg Bewegungsgleichung.

S: Wie sehen Operatoren im Heisenberg-Bild aus?

Hier hat er mir auch etwas helfen müssen. Am Ende kam das richtige raus.

Hier wollte er wissen, ob  $E_n = -Ry/n^2$  alle Eigenenergien sind oder ob der Hamiltonian noch mehr Eigenwerte hat. Wusste ich nicht, schien er aber auch nicht schlimm zu finden. Die positiven Energien haben irgendwie mit Streuung zu tun.

S: Betrachten wir  $n = 2$ . Welche Zustände gibt es?

I:  $|n, l, m_l, m_s\rangle \rightarrow 8$  Stück, weil  $l \leq n-1$ ,  $-l \leq m_l \leq l$ ,  $m_s = \pm 1/2$

S (zufrieden): Wenn wir jetzt noch Spin Bahn Kopplung haben. Aber nur Spin-Bahn-Kopplung. Kein Darwin Term und sonst auch keine weiteren Beiträge zum Hamiltonian.

I:  $H = H_0 = p^2/2m - e^2/4\pi \epsilon_0 r + k \text{Skalarprodukt}(L, S)$ . Wie das  $k$  genau aussieht sieht, weiß ich nicht (war Shnirman auch sichtlich egal). Jetzt Störungstheorie mit LS-Term als Störterm.

S: Wie macht man das?

I: Zeitunabhängige entartete Störungstheorie. Eigenwerte der Matrix  $\langle n, l, m_l, m_s | LS | n', l', m_l', m_s' \rangle$  sind meine Energiekorrekturen.

S: Da gibt es ja aber einen besseren Weg als die händisch zu diagonalisieren...

I: keine Ahnung mehr...

S: Sie könnten zum Beispiel die Basis wechseln...

I: Ich führe den Gesamtdrehimpuls  $J = L + S$  ein.  $LS = 1/2(J^2 - L^2 - S^2)$ . Jetzt wähle ich neue Quantenzahlen  $n, j, l, s$ . Basiswechsel ist durch Clebsch-Gordan-Koeffizienten möglich. \*Einfach einmal das Matrixelement in der Neuen Basis mit CGK davor hingeschrieben.\* Die CGKs kann ich durch Leiteroperatoren bestimmen (musste ich aber nicht genauer zeigen). In der neuen Basis ist meine Störmatrix diagonal.

S: Okay, welche Entartungen werden jetzt aufgehoben? (Nach ein bisschen hin und her kamen wir zusammen darauf, dass es drei neue Energieniveaus gibt. Wie genau die aussehen, war ihm egal. Er wollte wissen, welche Zustände die gleiche Energie haben. Weiß nicht mehr genau, wie die Aufteilung war, die Energien, waren aber 2-, 2- und 4-fach entartet.

S: Schreiben sie mir die Dirac-Gleichung auf. Bitte direkt mit externem Feld.

I: Getan.

S: Und was passiert, wenn Sie diese Gleichung Lorentz-transformieren?

I:  $\Psi'(x') = S(\Lambda) \Psi(x)$  bzw  $\Psi(x) = S^{-1}(\Lambda) \Psi'(x')$ .  $S$  muss unitär sein, also  $SS^\dagger = 1$ .

S: Und wie können sie dieses  $S(\Lambda)$  bestimmen?

Dann habe ich wirres Zeug von mir gegeben und verdächtige Dinge mit der Gleichung getan, bis Shnirman zufrieden war. Vielleicht hat er auch aufgegeben. Ich weiß es nicht. Er mag auf jeden Fall die Notation mit den durchgestrichenen Operatoren nicht. Ich sollte einfach gamma Matrizen hinschreiben. Hat in diesem Fall das Ganze auch einfacher gemacht.

S: Können Sie mir noch die Pauli-Gleichung oder den Hamiltonian aufschreiben?

I: Die Pauli-Gleichung ist ein nicht relativistischer Grenzfall der Dirac-Gleichung.  $H = (p - eA)^2/2m - \phi - \text{Skalarprodukt}(\text{Magn. Moment}, B\text{-Feld})$

Hier wollte er noch etwas zum gyromagnetischen Verhältnis.

I:  $B = \text{Nabla} \times A \rightarrow A = r \times B$

S: Das gilt aber nur für bestimmte Fälle (keine Ahnung mehr, was für Fälle. Ich habe damit weiter gerechnet und er war zufrieden)

I:  $A = r \times B$  in Pauli-Gleichung einsetzen. Ausmultiplizieren. Zyklisches Vertauschen im Spatprodukt für zu  $r \times p$  Term. Es ergibt sich also ein L.B Term. (musste ich bis hierhin rechnen)

S: Wenn Sie das jetzt fertig ausrechnen und mit den Vorfaktoren im  $\mu.B = k S.B$  Term vergleichen sehen Sie, dass die Vorfaktoren sich genau um den Faktor 2 unterscheiden. (Den Faktor 2 hatte ich vorhin schon angesprochen)

Am Ende kam noch ein wenig zu Theo F. Da wusste ich ungefähr gar nichts mehr. Ich habe noch die Dichtematrix und die Großkanonische Zustandssumme hinbekommen. Es lief dann darauf hinaus, dass er mir so viel helfen musste, dass er mir eher Sachen erklärt hat. Er meinte nachher, wenn ich die letzten zehn Minuten nicht so komplett verbockt hätte, wäre mindestens eine 1,3 wahrscheinlich sogar ein 1,0 drin gewesen. So wurde es halt eine 1,7.

